proLékaře.cz | 1.5.2025

ENDODONTICKÉ SEALERY NA BÁZI BIOKERAMIKY

Přehledový článek

BIOCERAMIC-BASED ROOT CANAL SEALERS

Review

Somolová L., Zapletalová Z., Rosa M., Novotná B., Voborná I., Morozova Y.
Klinika zubního lékařství, Lékařská fakulta Univerzity Palackého a Fakultní nemocnice, Olomouc

SOUHRN

Úvod: V současné dynamicky se rozvíjející endodoncii dochází k neustálému vývoji nových postupů ošetření a s tím souvisí i požadavky na kvalitní a spolehlivé materiály potřebné k zaplnění kořenového systému zubu. Před několika lety byly uvedeny na trh nové typy kořenových sealerů na bázi kalciumsilikátových sloučenin, které by mohly splňovat většinu parametrů dokonalého pečeticího materiálu. Novější generace těchto sealerů obsahují příměs kalciumfosfátu a jsou v zahraniční literatuře označovány jako biokeramické sealery.

Cílem sdělení je objasnit problematiku této skupiny sealerů a popsat jejich chemické, fyzikální a biologické vlastnosti. Sealery na bázi biokeramických sloučenin mají mnoho společných charakteristik s původním materiálem MTA (mineral trioxide aggregate). Vynikají především hydrofilním profilem a schopností tuhnout ve vlhkém prostředí. V kontaktu s dentinem dochází na jejich povrchu k depozici precipitátů hydroxyapatitu, a tím je potencováno spolehlivé zapečetění kořenového kanálku. Z fyzikálního hlediska jsou objemově stálé a při tuhnutí byla prokázána mírná expanze. Vlhkost prostředí a vysoká afinita k vodě podporují biomineralizační pochody ve tkáních, což spolu s dobrou zatékavostí materiálu umožňuje vyplnit celý prostor kořenového kanálku včetně jeho nepravidelností. Biokompatibilita, schopnost hojení rány a nízká cytotoxicita činí tento typ sealerů vhodný pro trvalý kontakt s tkáněmi periodoncia, kde je prolongovaným uvolňováním vápenatých iontů podporována regenerace. Bylo prokázáno, že díky vysoké hodnotě pH při tuhnutí působí tyto typy sealerů rovněž antimikrobiálně. Pro klinické využití mají dostatečnou rentgen kontrastnost, avšak podle použitého radioopakního aditiva vykazují v různé míře tendenci k dyskoloracím tvrdých zubních tkání. Relativně nevýhodnou vlastností mohou rovněž být zvýšená rozpustnost, porozita a nasákavost vody. Vzhledem k dynamické a bioaktivní povaze těchto sealerů však tyto nepříznivé vlastnosti nemusí být významné pro úspěšnost ošetření v klinické praxi. Mechanické vlastnosti většiny biokeramických sealerů obecně negativně ovlivňuje aplikace tepla, proto jsou pro klinické použití doporučovány kondenzační techniky plnění kořenových kanálků za studena.

Závěr: Výstupy klinických a experimentálních studií vyzdvihují výhodné vlastnosti a spolehlivost skupiny sealerů na bázi kalciumsilikátových sloučenin a naznačují do budoucna slibné výsledky při praktickém využití nejen ve specializovaných endodontických praxích.

Klíčová slova: endodontický sealer, kalciumsilikátový sealer, biokeramický sealer, vlastnosti

SUMMARY

Introduction: In modern endodontics, there is a constant development of new procedures and requirements for high-quality and reliable materials to fill the root canal system are rising. A few years ago, a new types of calcium silicate-based root canal sealers were launched on the market, which could meet most of the parameters of a perfect sealing material. Newer generations of these sealers contain calcium phosphate and are also referred to in the literature worldwide as bioceramic sealers.

Aim of the article: The aim of this article is to present the characteristics of this group of sealers and to outline their chemical, physical and biological properties. Bioceramic-based root canal sealers have many characteristics in common with the original material MTA (mineral trioxide aggregate). They are similar to its chemical composition and setting reaction. They are hydrophilic and able to set in humid environments. In contact with the dentin, hydroxyapatite crystals are deposited on the surface, thus enhancing the sealing ability of the root canal. Considering their physical characteristics, they are volumetrically stable and there is even a slight expansion during material setting. Humidity of the environment and high water sorption promote the biomineralization processes, and contribute to a better seal of the root canal. The flowability of the material allows to fill the entire space of the root canal, even including its irregularities. Biocompatibility, wound healing ability and minimal cytotoxicity make this type of sealer suitable for permanent contact with periodontal tissues, where prolonged release of calcium ions promotes regeneration. High pH value during material setting result in an antimicrobial effect. They have sufficient X-ray contrast for clinical use, but depending on the radiopaque additive used, they show a tendency to discoloration of hard dental tissues. A relatively disadvantageous features are increased solubility, porosity and water absorption. However, due to the dynamic and bioactive nature of these sealers, these adverse properties may not be significant for the success of treatment in clinical practice.

proLékaře.cz | 1.5.2025

The mechanical properties of most bioceramic sealers are generally negatively affected by heat. Due to this fact, cold obturation methods are recommended for bioceramic-based sealers.
Conclusion: The outcomes of clinical and experimental studies generally highlight the beneficial properties and reliability of this group of sealers. They suggest promising results not only in specialized endodontic practices.

Key words: root-canal sealer, calcium silicate-based sealer, bioceramic sealer, properties

Somolová L, Zapletalová Z, Rosa M, Novotná B, Voborná I, Morozova Y.
Endodontické sealery na bázi biokeramiky.
Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(3): 116–124. doi: 10.51479/cspzl.2021.014

ÚVOD A CÍL

Za zlatý standard pro hermetické vyplnění kořenového kanálku je dlouhodobě považována kombinace materiálu jádra a pečeticího materiálu (sealeru) [1]. Nejčastěji se užívá spojení gutaperči a vybraného typu sealeru, od kterého se očekává vyplnění a zapečetění prostoru kořenového kanálku, jeho nerovností a anatomických nepravidelností včetně míst, která nebyla mechanicky preparována a vyčištěna, jako jsou isthmus, laterální a akcesorní kanálky [1, 2, 3, 4]. Endodontické sealery jako nedílná součást kořenové výplně by měly v klinické praxi splňovat mnoho požadavků. V ideálním případě by měly být jednoduše zpracovatelné, objemově stálé, poskytující trvalý hermetický uzávěr a adhezi k tvrdým zubním tkáním, dobře viditelné na rentgenovém snímku (radioopacita minimálně 3 mm hliníku podle ISO normy a ANSI/ADA), biokompatibilní, bioaktivní, antimikrobiální, resorbovatelné v tkáních, odolávající resorpci ve strukturách zubu, zároveň nezpůsobující dyskolorace a také snadno odstranitelné pomocí rozpouštědel [2, 5, 6, 7]. V současné době nejsou k dispozici materiály, které by dokonale splňovaly všechna kritéria ideálního kořenového sealeru [2, 6]. Navíc běžně používané sealery na bázi oxidu zinečnatého, pryskyřic nebo hydroxidu vápenatého přes dlouhou tradici ve vědeckém výzkumu a klinickém využití [8] vykazují kontrakci při tuhnutí, degradaci v čase a také většinou nedisponují chemickou vazbou k tvrdým zubním tkáním. Sealery na bázi zinkoxideugenolu, které patří do první generace sealerů, se mohou vyluhovat z kořenového kanálku, je jim vyčítána toxicita, porozita, možné dyskolorace, stejně jako problémy při adhezivní úpravě povrchu tvrdých zubních tkání [6, 9]. Také druhá a třetí generace sealerů, které již zinkoxideugenolové sloučeniny neobsahují a jsou založeny na bázi silikonů, pryskyřic nebo hydroxidu vápenatého, popř. na bázi skloionomerních cementů, vykazují značné množství nevýhod [6, 7] **(tab. 1 a 2)**. Zájem mnoha výzkumných týmů byl proto v posledních desetiletích upřen ke kalciumsilikátovým cementům jako relativně novému typu materiálů s mnohostranným využitím v endodoncii, který by při použití v kořenovém kanálku mohl odstranit nedostatky tradičních sealerů. Sealery na bázi kalciumsilikátových cementů s příměsí kalciumfosfátu jsou v zahraničí označovány jako biokeramické sealery, které představují nejnovější čtvrtou generaci endodontických sealerů [9, 10]. Přehled generací sealerů používaných v současné endodoncii je uveden v **tab. 1** [5, 6, 7, 9, 11], jejich vlastnosti jsou pak přehledně zobrazeny v **tab. 2** [9].

SEALERY NA BÁZI KALCIUMSILIKÁTOVÝCH CEMENTŮ

Obecně je tento typ sloučenin odvozen od třetí generace kalciumsilikátových cementů [10], které se kromě konzistence sealeru též vyrábějí v podobě pasty a putty (tmelu). Ve formě hutné pasty a putty jsou tyto materiály vhodné pro krytí perforací jako provizorní výplňový materiál, retrográdní kořenová výplň, pro pulpotomie, překrytí zubní dřeně nebo pro maturogenezi [10, 12–17]. První sealer na bázi biokeramiky byl uveden na dentální trh v roce 2007 pod názvem iRoot SP (Innovative BioCeramix, Vancouver, Kanada) [18]. Dnes je v endodoncii známa celá řada produktů tohoto typu. V tuzemské literatuře se pokusili o přehledné rozdělení M. Rosa a kol. [5]. Výčet vybraných komerčních produktů s uvedeným složením a způsobem aplikace je zobrazen **v tabulce 3** [5, 8, 18–41].

CHEMICKÉ VLASTNOSTI

Složení

Sealery na bázi biokeramiky připomínají svým složením kompozici MTA materiálu [1, 8, 24]. Dělí se na skupinu založenou na bázi portlandského cementu a sealery obsahující jako hlavní složku zejména kalciumsilikát, kalciumaluminát nebo kalciumfosfát [21]. Hlavní složkou tradičního MTA materiálu je

proLékaře.cz | 1.5.2025

Tab. 1 Rozdělení endodontických sealerů podle jednotlivých generací: sealery s obsahem eugenolu vs. sealery bez obsahu eugenolu
Tab. 1 *Classification and generations of root canal sealers: eugenol-based and non-eugenol-based sealers*

	1. generace	2.-3. generace				4. generace	
	na bázi zinkoxideugenolu	**bez obsahu eugenolu**					
		na bázi SILIKONŮ	na bázi PRYSKYŘIC	na bázi HYDROXIDU VÁPENATÉHO	na bázi SKLOIONOMERNÍCH CEMENTŮ	na bázi BIOKERAMICKÝCH SLOUČENIN	
Výhody	• historicky dlouhá tradice • nízká cena • vysoce antispetické schopnosti • snadno odstranitelné z kanálku • resorbovatelné z peridodoncia	• kompatibilní s adhezivní stomatologií • relativně snadno odstranitelné z kanálku • relativně dobré utěsnění a biokompatibilita		• antibakteriální působení • kompatibilní s adhezivní stomatologií • indukce mineralizace	• schopnost adheze na tvrdé zubní tkáně • hydrofilie	• dobrá kvalita utěsnění • objemová stálost • infiltrace dentinových tubulů • biokompatibilní • bioaktivní • antimikrobiální • kompatibilní s adhezivní stomatologií	
Nevýhody	• eugenol interferuje s adhezivní úpravou povrchu tvrdých zubních tkání • možné dyskolorace tvrdých zubních tkání • kontrakce při tuhnutí - riziko vzniku spáry • rychlé vyluhování, porozita • možné alergie • vyšší cytotoxicita	• bez baktericidního a protizánětlivého účinku - vyžadují kvalitní dezinfekci kořenového systému • možné dyskolorace tvrdých zubních tkání • u některých cytotoxicita		• objemová nestabilita z dlouhodobého hlediska • nebezpečí rychlého vyluhování	• špatně odstranitelné z kanálku • krátký pracovní čas • porozita • neresorbovatelnost • minimální mikrobiální aktivita	• cena materiálu • relativně obtížně odstranitelné z kanálku	
Příklady komerčních produktů	• Endomethasone N • Endomet Plain • Tubliseal • Pulp Canal Sealer	• Roekoseal • Guttaflow	na bázi epoxidových pryskyřic: • AH 26 • AH 26 Silver Free • AH Plus • AD Seal na bázi metakrylátových pryskyřic: • Hydron • EndoRez • Epiphany • Realseal SE • Metaseal SE	• Sealapex • Apexit • Apexit Plus	• Ketac Endo • Endion	kalciumsilikátové: *založené na MTA:* • MTA Fillapex • ProRoot Endo Sealer • Endo CPM • MTA Obtura • Endoseal MTA • Tech Biosealer Endo • MTA Bioseal *nezaložené na MTA:* • Endosequence BC sealer • BioRoot RCS • iRoot SP • TotalFill BC sealer • Nano Ceramic Sealer • Ceraseal • Sealer Plus BC • Bio-C Sealer	kalcium-fosfátové: • Bioseal • Capseal I. a II.

portlandský cement, který může tvořit až 75 % hmotnosti MTA. Portlandský cement obsahuje v různých poměrech trikalcium silikát, dikalcium silikát, trikalcium aluminát, tetrakalcium aluminoferit a sádru [10]. Biokeramický materiál obsahuje rentgenkontrastní složky, jako je oxid bizmutitý, oxid zirkoničitý, oxid wolframičitý, oxid tantaličný a jiné [10]. Podle výrobce a typu materiálu může také ve svém složení zahrnovat další komponenty **(tab. 3)**.

Tuhnutí

Níže uvedené reakce popisují obecný princip tuhnutí sealerů na bázi kalciumsilikátu. Průběh chemické reakce může být u různých komerčních produktů ovlivněn složením. V závislosti na typu a poměru jednotlivých složek směsi a parametrech prostředí probíhá proces tuhnutí trvající 270 minut až dvacet hodin [5, 16, 23, 42–44]. Biokeramické sealery jsou v endodoncii oceňovány hlavně pro **hydrofilní vlastnosti** a schopnost tuhnutí ve vlhkém prostředí kořenového kanálku [1, 3, 8, 16, 45, 46]. Některé materiály přímo vyžadují vlhké prostředí, protože nedostatek vlhkosti prodlužuje čas tuhnutí, avšak extrémní vlhko zase negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti, zejména výslednou mikrotvrdost materiálu [21, 23, 47, 48]. Hydrofilita biokeramických sealerů také potencuje **schopnost adheze** k dentinovým strukturám, která je výrazně vyšší proti hydrofobním sealerům na bázi pryskyřic [16, 49].

V primární fázi hydratace reaguje kalciumsilikát s vodou a vzniká hydratovaný kalciumsilikát v gelové fázi za vzniku hydroxidu vápenatého [3, 8, 16, 18, 46].

proLékaře.cz | 1.5.2025

Tab. 2 Obecné srovnání vybraných vlastností nejpoužívanějších typů sealerů
Tab. 2 *Comparison of selected attributes of the most widely used root canal sealers*

	Sealery na bázi ZINKOXID-EUGENOLU	Sealery na bázi EPOXIDOVÝCH PRYSKYŘIC	Sealery na bázi BIOKERAMICKÝCH SLOUČENIN
objemová stálost	x	x	✔
kvalitní utěsnění	✔	✔	✔
jednoduchost použití	✔	✔	✔
bioaktivní působení	x	x	✔
vysoké pH >11	x	x	✔
bez přítomnosti pryskyřic	✔	x	*
vznik hydroxyapatitu	x	x	✔
biomineralizace	x	x	✔
rentgenkontrastnost	✔	✔	✔

* některé produkty

Hydratace:
$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$
Průběh reakce v přítomnosti dikalciumsilikátu:
$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$

Zásluhou hydroxidu vápenatého vzniká zásadité prostředí [10, 46]. Díky vysoké hodnotě pH (11–12,8) během 24 hodin od začátku tuhnutí se tyto sealery vyznačují silnou antimikrobiální schopností [3, 8, 16, 19]. Vysokou hodnotu pH si tyto materiály udržují po několik dní až týdnů [18, 23, 50]. Reakcí kalciumfosfátu s hydroxidem vápenatým dále dochází k precipitaci hydroxyapatitových struktur [3, 8, 16, 18, 20, 46].

Precipitace:
$7Ca(OH)_2 + 3Ca(H_2PO_4)_2 \longrightarrow Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 12H_2O$

Voda, která se vysrážela při reakci, poté reaguje s kalciumsilikátem a vytváří další hydratovaný kalciumsilikát v gelové fázi. Vysrážená voda je zde významným faktorem kontroly míry hydratace, a tím i času tuhnutí materiálu [16]. Při ručním míchání materiálu může docházet k relativní nehomogenitě materiálu, kdy nemusí plně zreagovat všechny částice směsi. U dvousložkových materiálů může být nezreagovaný prášek přítomen ještě několik dní [51]. V tomto ohledu jsou pro klinické využití zřejmé výhody již předmíchaných jednosložkových typů sealerů [3, 16, 52].

Biomineralizace

Reakcí vápenatých kationtů pocházejících z hydroxidu vápenatého vzniklého při primární fázi hydratace s fosforečnatými anionty vyskytujícími se v dentinu vzniká specifická mezivrstva utvářená apatitovými strukturami podobnými hydroxyapatitu [50]. Tato mezivrstva zajišťuje chemickou vazbu mezi materiálem a dentinem, a tím vzniká lepší utěsnění proti ostatním materiálům v podobných indikacích [19, 20]. Tento proces biomineralizace (produkce minerálních látek živým organismem) úzce souvisí se schopností utěsnit vyplňovaný prostor v kořenovém systému [1, 8, 53, 54].

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Základním předpokladem hermetického utěsnění kořenového systému je **objemová stálost** materiálu. Kromě již zmíněné specifické mezivrstvy, která vzniká mezi materiálem a dentinem, je z hlediska utěsnění výhodná také expanze materiálu při tuhnutí, která nastává ve větší míře než u sealerů na bázi polyepoxidových pryskyřic [3, 8, 23, 42, 43, 46]. Tvrdost materálu je brána spíše jen jako kritérium kvality hydratačních procesů a již proběhlého tuhnutí materiálu, a nemá proto pro klinický úspěch ošetření specifický význam [55]. Tuto vlastnost ovlivňují další faktory, jako pH okolního prostředí, teplota, vlhkost, tloušťka materiálu, kvalita kondenzace, přítomnost chelatačního činidla nebo leptání povrchu. Proces tuhnutí probíhá nejlépe při mírně vlhkém prostředí, vyšších hodnotách pH, absenci přítomnosti chelatačního prostředku a méně homogenní kondenzaci [10]. Tuhnutí trvá delší dobu, při které dochází ke **zrání** materiálu. Ten má po několika dnech lepší mechanické vlastnosti než v kratším časovém úseku [10]. Fyzikální vlastnosti některých sealerů na bázi kalciumsilikátu jsou ovlivněny **teplem**. Při nevhodném užití obturačních metod za tepla dochází k odpařování vody z materiálu, a tím k redukci času tuhnutí a horší vazbě ke stěně kořenového kanálku [53, 56].

proLékaře.cz | 1.5.2025

Tab. 3 Přehled komerčních produktů ze skupiny biokeramických sealerů
Tab. 3 *Bioceramic-based root canal sealers: commercial products overview*

Hlavní složka	Produkt	Výrobce	Složení	Aplikace
Portlandský cement/MTA	MTA Fillapex	*Angelus (Brazílie)*	• základní pasta (žlutá): salicylátová pryskyřice, přírodní pryskyřice, tetraoxowolframan vápenatý, oxid bizmutitý, oxid titaničitý, nanočástice křemene, pigmenty • katalyzační pasta (bílá): ředící pryskyřice, MTA, nanočástice křemene, pigmenty	• ruční míchání dvou past na podložce • aplikace na hlavním gutaperčovém čepu (dvousložkový sealer)
	Endo CPM	*Egeo SRL (Argentína)*	• prášek: MTA, oxid bizmutitý, síran barnatý, oxid křemičitý, oxid uhličitý • tekutina: vodní suspenze chloridu vápenatého, citronan sodný, propylenglycoalginát, propylenglykol	• ruční míchání prášku a tekutiny na podložce • aplikace na hlavním gutaperčovém čepu (dvousložkový sealer)
	MTA Obtura	*Angelus (Brazílie)*	• prášek: MTA, oxid bizmutitý • viskózní tekutina - tekutá pryskyřice	
	EndoSeal MTA	*Maruchi (Korea)*	• kalciumsilikát, kalciumaluminát, kalciumaluminoferit, kalciumsulfát, kalciumfosfát, oxid bizmutitý, oxid zirkoničitý, oxid sodný, oxid vápenatý, oxid draselný, oxid hořečnatý, oxid železitý, oxid hlinitý, oxid titaničitý, oxid křemičitý, zahušťovací činidlo	• předmíchaná forma v aplikační kanyle (jednosložkový sealer)
	ProRoot Endo Sealer	*Dentsply (USA)*	• prášek: trikalciumsilikát, dikalciumsilikát, kalciumsulfát, oxid bizmutitý, trikalciumaluminát • tekutina: voda, viskózní ve vodě rozpustný polymer	• ruční míchání prášku a tekutiny na podložce • aplikace na hlavním gutaperčovém čepu (dvousložkový sealer)
	Tech Biosealer Endo	*Isasan SRL (Itálie)*	• prášek: bílý portlandský cement, oxid bizmutitý, fluorid sodný • tekutina: Alfacain SP roztok (4% arcain + 1/100.000 adrenalin)	
	MTA Bioseal	*Itena (Francie)*	• MTA, salicylátová pryskyřice, ředící pryskřice, tetraoxowolframan vápenatý, oxid titaničitý, oxid křemičitý, pigmenty	• dvousložková pasta v aplikační kanyle
	Dia-Root Bio Sealer	*DiaDent Group International (Kanada)*	• MTA, další složky prozatím nedostupné bude uveden na trh v roce 2020	• předmíchaná forma v aplikační kanyle (jednosložkový sealer)
Kalciumsilikát	BioRoot RCS	*Septodont (Francie)*	• prášek: trikalciumsilikát, oxid zirkoničitý • tekutina: voda, povidone, chlorid vápenatý, polykarboxylát (polymer rozpustný ve vodě)	• ruční míchání prášku a tekutiny na podložce • aplikace na hlavním gutaperčovém čepu (dvousložkový sealer)
	Endosequence BC sealer *Endosequence BC sealer HiFlow*	*Brasseler (USA)*	• kalciumsilikáty, monobázický kalciumfosfát, oxid zirkoničitý, oxid tantaličný, hydroxid vápenatý, zahušťovací činidlo	• předmíchaná forma v aplikační kanyle (jednosložkový sealer)
	iRoot SP	*Innovative BioCeramix Inc. (Kanada)*	• kalciumsilikáty, monobázický kalciumfosfát, oxid zirkoničitý, hydroxid vápenatý, plnivo, oxid niobičný, zahušťovací činidlo	
	TotalFill BC sealer *TotalFill BC sealer HiFlow*	*FKG Dentaire (Švýcarsko)*	• kalciumsilikáty, monobázický kalciumfosfát, oxid zirkoničitý, oxid tantaličný, zahušťovací činidlo	
	Nano Ceramic Sealer	*B&L Biotech (USA)*	• kalciumsilikát, oxid zirkoničitý, plnivo, zahušťovací činidlo	
	Ceraseal	*MetaBiomed (Korea)*	• kalciumsilikát, oxid zirkoničitý, zahušťovací činidlo	
	Sealer Plus BC	*MK life (Brazílie)*	• kalciumsilikát, trikalciumsilikát, hydroxid vápenatý, oxid zirkoničitý	
	Bio-C Sealer	*Angelus (Brazílie)*	• kalciumsilikát, kalciumaluminát, oxid vápenatý, oxid zirkoničitý, oxid železitý, oxid křemičitý, zahušťovací činidlo	
	Well-Root ST	*Vericom (Korea)*	• sloučenina kalcium-aluminosilikátu, oxid zirkoničitý, oxid titaničitý, dehydratovaný síran vápenatý, částice anorganického skla, zahušťovací činidlo	
Kalciumfosfát	Apatite root canal sealer (I.,II.,III.)	*Sankin Kogyo (Japonsko)*	• prášek: alfa-trikalciumfosfát, hydroxyapatit, jodoform • tekutina: voda, kyselina polyakrylová	• ruční míchání prášku a tekutiny na podložce • aplikace na hlavním gutaperčovém čepu (dvousložkový sealer)
	Capseal (I., II.)	*Sankin Kogyo (Japonsko)*	• prášek: tetrakalciumfosfát, anhydrický dikalciumfosfát, portlandský cement (šedý cement u typu I. a bílý cement u tyu II.) oxid zirkoničitý • tekutina: hydroxypropyl-metylcelulóza roztoku fosforečnanu sodného	

proLékaře.cz | 1.5.2025

Původní materiály na bázi MTA čelily estetickým komplikacím ve formě **dyskolorací** tvrdých zubních tkání [57]. Za změnu barvy ve většině případů můžou přídatné látky pro zabezpečení rentgenkontrastnosti materiálu. Podle současných poznatků jsou to hlavně oxid bizmutitý a oxid železitý [10, 18, 58, 59]. Materiály, u kterých byly tyto složky nahrazeny jinou látkou, např. oxidem zirkoničitým, standardně nemají klinicky významnou tendenci k dyskoloracím [19]. Zabarvení klinické korunky zubu po ošetření kalciumsilikátovým materiálem může být způsobeno i kontaktem materiálu s výplachovými roztoky, jako jsou chlornan sodný, chlorhexidin nebo kyselina etylen-diamin-tetraoctová (EDTA). Této komplikaci se lze vyhnout provedením závěrečného výplachu pomocí fyziologického roztoku. Ke změně barvy tvrdých zubních tkání může dojít také po kontaminaci materiálu krví. Pokud je změna barvy zubu pravděpodobná, můžeme její negativní dopad na estetický výsledek ošetření zmírnit aplikací kalciumsilikátového materiálu více apikálně [59]. **Radioopacita** sealerů na bázi biokeramiky se pohybuje v rozmezí 3–11 mm hliníku, čímž splňuje podmínku pro minimální rentgenkontrastnost endodontického sealeru [10, 19, 20, 23, 42, 48]. Vzhledem k požadavkům na ideální kořenovou výplň zůstává u biokeramických sealerů problémem jejich zvýšená **porozita**, **rozpustnost** a **nasákavost vody** [42]. Biokeramické sealery vykazují uvnitř aplikovaného materiálu větší porozitu než pryskyřičné sealery [18]. Tato prázdná místa v materiálu ale nemají negativní dopad na kvalitu utěsnění kořenové výplně [53]. Zvýšený počet porozit v materiálu umožňuje zvýšenou absorpci vody z okolí, a tím se pravděpodobně zvětšuje objem výplňové hmoty [60]. Rozpustnost odpovídající standardům pro kořenový sealer má být nižší než tři procenta objemu hmoty [21]. U biokeramických sealerů jsou hodnoty rozpustnosti bezprostředně po aplikaci několikanásobně vyšší [21], avšak výrazně klesají po sedmi dnech. Vyšší porozita a nasákavost vody se však nijak významně v čase nemění [42, 43]. Hodnota rozpustnosti však nemusí být směrodatná pro těsnicí schopnost sealerů v biologické tkáni. Zvýšená rozpustnost naopak podporuje bioaktivní působení sealerů, které má v organismu dynamickou povahu [20]. Po 14 až 28 dnech dochází ve tkáních k **biomineralizaci** spojené s povrchovou depozicí precipitátů hydroxyapatitu [20, 61]. Tyto struktury mají schopnost vyplnit prázdná místa vzniklá zvýšenou rozpustností sealeru [42]. Lze předpokládat, že definitivní kořenová výplň kombinující gutaperču s biokeramickým sealerem nabízí spolehlivé utěsnění kořenového systému oproti běžně užívaným sealerům dostupným na současném trhu [1, 53]. Biokeramické sealery mají převážně nízkou **viskozitu**. To umožňuje vyplnění mikroprostorů mezi gutaperčovým čepem a stěnou kanálku, případně vedlejšími gutaperčovými čepy u laterální kondenzace za studena. Bez ohledu na metodu plnění jsou biokeramické sealery také schopny penetrace do laterálních kanálků a dentinových tubulů a společně s bioaktivitou materiálu mohou zlepšit zapečetění celého kořenového systému [18, 23, 24, 62].

BIOLOGICKÉ VLASTNOSTI

Biokeramické sealery podobně jako většina biokeramických materiálů vynikají svými vlastnostmi týkajícími se **biokompatibility** a schopností indukce mineralizace v oblasti periapikálních tkání [1, 44, 54, 63]. Biokeramické materiály Biodentine a BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des Fosses, Francie) disponují vysokou bioaktivitou a biokompatibilitou, zachovávají proliferaci, migraci a adhezi kmenových buněk zubní dřeně [50, 64]. Četné in vitro studie na buněčných kulturách prokázaly vysokou biokompatibilitu sealerů na bázi biokeramiky [50, 64-67]. Byla pozorována velká míra mineralizace při přímém kontaktu s tkání, a tím i potenciál pro regeneraci pulpodentinového orgánu. Biokeramické materiály jsou proto vhodné jak pro výkony se zachováním vitality zubní dřeně, tak pro definitivní plnění kořenových kanálků, kde dochází k trvalému a bezprostřednímu kontaktu se tkáněmi periodoncia [50, 64]. U biokeramických sealerů byla v laboratorní studii prostřednictvím testu migrace buněk pozorována vysoká míra **hojení rány**, naproti tomu sealery na bázi pryskyřic vykazovaly zanedbatelný stupeň hojení [25]. **Cytotoxické působení** ve vztahu k životaschopnosti buněk, množství separovaných buněk nebo aktivitě alkalické fosfatázy lze považovat za spíše nižší údaje a v literatuře se liší v závislosti od složení konkrétního produktu [10, 25, 68]. Některé materiály mají schopnost podporovat reparativní procesy uvnitř buněk [3, 63]. Přežití kolonií buněk fibroblastů i kmenových buněk zubní dřeně je kvantitativně výrazně vyšší za přítomnosti biokeramických sealerů než za přítomnosti sealerů pryskyřičných [9, 25, 44]. Podle vědeckých prací je rovněž pozorováno bioaktivní působení na buňky periodontálních

proLékaře.cz | 1.5.2025

ligament, indukce a vyšší sekrece angiogenních a osteogenních růstových faktorů než u sealerů na bázi zinkoxideugenolu [69, 70]. Míra **mineralizace** souvisí se schopností uvolňovat vápenaté ionty, které umožňují tvorbu apatitových depozitů. U materiálů BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des Fosses, Francie) a MTA Fillapex (Angelus, Brazílie) bylo pozorováno vysoké a prolongované uvolňování iontů vápníku [18, 42, 53]. Naproti tomu sealery na bázi pryskyřic nebo na bázi zinkoxideugenolu nedisponují žádnou nebo disponují jen nesignifikantní schopností uvolňovat ionty vápníku [42]. Prodloužení času uvolňování iontů vápníku je přitom klíčovým faktorem pro podporu regenerace zubních tkání a tkání periodoncia [71]. Sealery na bázi biokeramiky disponují také silnou **antimikrobiální schopností**, která je dána vznikem hydroxidu vápenatého, a tím vysokou hodnotou pH při tuhnutí [10, 16, 19, 42, 69, 72]. Toto zásadité prostředí jsou některé materiály schopny zachovávat dlouhou dobu, a tím přispívat k biomineralizaci pomocí aktivace alkalické fosfatázy [23, 42, 43]. Podle experimentálních studií může být antimikrobiální aktivita biokeramických sealerů zvýšena pomocí závěrečného výplachu kořenového kanálku roztokem EDTA [19, 20]. Tento krok ale může ve svém důsledku způsobit markantní snížení uvolňování iontů vápníku, a tím snížit míru biomineralizace [20]. Vhodné terapeutické uplatnění nachází kalciumsilikátové sealery zejména v případě nekrotických změn zubní dřeně a u zubů s rozsáhlým apikálním radiologickým nálezem, kde schopnost usmrtit bakterie v kořenovém kanálku zvyšuje šance na dlouhodobý úspěch léčby [3, 26].

VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH STUDIÍ

V in vitro studiích bylo zkoumáno apikální utěsnění kořenového kanálku před průnikem tekutin při použití různých typů sealerů. U vzorků zaplněných biokeramickým sealerem s použitím jednoho kalibrovaného gutaperčového čepu, který odpovídá rozměru kanálku, bylo dosaženo obecně lepšího apikálního utěsnění než u vzorků zaplněných metodou laterální kondenzace gutaperči za studena s použitím pryskyřičného sealeru [21]. V jiné studii při testování průniku barviva hodnoceného pomocí stereomikroskopu, byla prokázána znatelně lepší schopnost apikálního utěsnění kořenového kanálku při plnění metodou laterální kondezace gutaperčí za studena s použitím biokeramického sealeru než při použití sealerů na bázi zinkoxideugenolu, hydroxidu vápenatého a pryskyřic [73].

V další práci test propustnosti barviva zkoumal vztah mezi mírou vlhkosti kanálku a kvalitou utěsnění výplně [74]. V tomto experimentu ukázal biokeramický sealer MTA Fillapex dobrou schopnost zapečetění nezávisle na podmínkách prostředí kořenového kanálku, zatímco kvalita utěsnění pomocí pryskyřičného sealeru a sealeru na bázi zinkoxideugenolu byla značně závislá na vlhkosti prostředí [74]. Testy propustnosti před bakteriální invazí prokázaly stejnou kvalitu utěsnění u plnění tzv. monokónickou metodou s použitím biokeramického sealeru jako u 3D obturace za tepla s využitím sealeru na bázi epoxidové pryskyřice [75].

ZÁVĚR

Sealery na bázi kalciumsilikátových cementů přinášejí pro účely definitivní ortográdní obturace kořenového systému kvalitativní posun v rámci endodontického ošetření. Díky objemové stálosti, hydrofilním vlastnostem a schopnosti tuhnutí ve vlhkém prostředí kořenového kanálku nabízí vysokou míru utěsnění oproti běžně užívaným sealerům bez nutosti využití tepla při kondenzaci materiálu v kanálku. S ohledem na jejich výhodné biologické, fyzikální a chemické vlastnosti se tyto typy sealerů prezentují jako jednoduché, spolehlivé a ekonomicky přijatelné řešení jak pro praktické zubní lékaře, tak pro endodontické specialisty. Vzhledem k požadavkům na ideální kořenovou výplň zůstává u biokeramických sealerů výzvou jejich zvýšená porozita, rozpustnost a nasákavost vody.

Úlohou článku bylo podat stručný přehled vlastností tohoto typu sealerů. Praktické využití spolu s popisem vhodných technik plnění kořenového kanálku, především techniky obturace s použitím jednoho kalibrovaného čepu (single-cone metoda), bude předmětem dalšího odborného sdělení o využití endodontických sealerů v praxi.

Publikace vznikla za podpory grantu IGA_LF_2020_008.

MDDr. Lucia Somolová
Klinika zubního lékařství LF UP a FN
Palackého 12
772 00 Olomouc
e-mail: lucia.somolova@gmail.com

proLékaře.cz | 1.5.2025

LITERATURA

1. Septodont.
Case Studies Collection No. 13 March 2016. BioRoot™ RCS The new biomaterial for root canal filling. [cit. 24. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.septodontcorp.com/files/pdf/Case-Studies-Collection-13.pdf#page=4

2**. Haapasalo M, Parhar M, Huang X, Wei X, Lin J, Shen Y.**
Clinical use of bioceramic materials. Endod Topics. 2015; 32: 97–117.

3. Debelian G, Trope M.
The use of premixed bioceramic materials in endodontics. Giornale Italiano di Endodonzia. 2016; 30(2): 70–80.

4. Viapiana R, Flumignan DL, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilleri J, Tanomaru-Filho M.
Physicochemical and mechanical properties of zirconium oxide and niobium oxide modified Portland cement-based experimental endodontic sealers. Int Endod J. 2014; 47(5): 437–448.

5. Rosa M, Morozova Y, Moštěk R, Jusku A, Kováčová V, Somolová L, Voborná I, Kovalský T.
Vybrané vlastnosti súčasných endodontických sealerov: Časť 1. Čes stomatol Prakt zubní lék. 2020; 120(4): 107–115.

6. Peřinka L, Bartůšková Š, Záhlavová E.
Základy klinické endodoncie. Praha: Quintessenz; 2003, 224–225, 245–247, 225–226, 225–230.

7. Hargreaves KM, Cohen SS.
Cohen's pathways of the pulp. 10. vydání. St. Louis: Mosby Elsevier. 2011, 359, 359–362.

8. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M.
The use of bioceramics in endodontics – literature review. Clujul Med. 2016; 89: 470–473.

9. Septodont.
BioRoot™ RCS Launch Book [cit. 26. 11. 2019]. Dostupné z: https://www.septodontcorp.com/technology-and-products/endodontics-and-restorative/bioroot-rcs/

10. Žižka R, Šedý J, Škrdlant J, Kučera P, Čtvrtlík R, Tomaštík J.
Kalciumsilikátové cementy – 1. část: Vlastnosti a rozdělení. LKS 2018; 28(2): 37–43.

11. Vericom Co.
Vericom Well-Root ST. [cit. 5. 6. 2020]. Dostupné z: https://dentalmarket-eg.com/product/vericom-well-root-st/

12. Žižka R, Šedý J, Škrdlant J, Kučera P.
Kalciumsilikátové cementy – 2. část: Klinické využití. LKS. 2018; 28(3): 60–67.

13. Kapitán M.
Je perforace kořene důvodem k extrakci zubu? Sborník přednášek pro 21. ročník mezinárodního kongresu Pražské dentální dny; 2019, říjen 4–5; Praha; Česká stomatologická komora; 2019, 12.

14. Žižka R, Buchta T, Voborná I, Harvan L, Šedý J.
Root maturation in teeth treated by unsuccessful revitalization: 2 case reports. J Endod. 2016; 42(5): 724–729.

15. Žižka R, Šedý J, Škrdlant J, Němcová N, Buchta T.
Maturogeneze. Část 3. Klinický protokol. Prakt. zubní lék. 2016; 64(3): 39–45.

16. Koch K, Brave DG, Nasseh AA.
A review of bioceramic technology in endodontics. Roots. 2013; 1: 6–13.

17. Žižka R, Škrdlant J, Míšová E.
Maturogeneze. LKS. 2015; 25(11): 220–228.

18. Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, Schäfer E.
Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. Odontology. 2019; 107: 421–436.

19. Septodont.
BioRoot™ RCS. Endo sealer or biological filler? [cit. 24. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.septodont.com.ru/sites/ru/files/2019-07/Septodont_BioRoot_Endo%20sealer%20or%20biological%20filler_JC.pdf

20. Septodont.
BioRoot™ RCS Is a paradigm shift for root canal obturation possible? [cit. 24. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.septodontcorp.com/wp-content/uploads/2018/03/bioroot_-_article_camilleri_0118_low.pdf

21. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA.
Bioceramic-based root canal sealers: A review. Int J Biomater. 2016; 2016: 9753210. doi:10.1155/2016/9753210

22. Mendes AT, Silva PBD, Só BB, Hashizume LN, Vivan RR, Rosa RA, Duarte MAH, Só MVR.
Evaluation of physicochemical properties of new calcium silicate-based sealer. Braz Dent J. 2018; 29(6): 536–540. doi:10.1590/0103-6440201802088

23. Lee JK, Kwak SW, Ha JH, Lee W, Kim HC.
Physicochemical properties of epoxy resin-based and bioceramic-based root canal sealers. Bioinorg Chem Appl. 2017; 2017: 2582849. doi:10.1155/2017/2582849

24. Tyagi S, Mishra P, Tyagi P.
Evolution of root canal sealers: An insight story. Eur J Dent. 2013; 2(3): 199–218.

25. Seo DG, Lee D, Kim YM, Song D, Kim SY.
Biocompatibility and mineralization activity of three calcium silicate-based root canal sealers compared to conventional resin-based sealer in human dental pulp stem cells. Materials (Basel). 2019; 12(15): 2482. doi:10.3390/ma12152482

26. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y.
Comprehensive review of current endodontic sealers. Dent Mater J. 2020; 10: 2019–2288. doi:10.4012/dmj.2019-288

27. Technomedics.
TotalFill Premixed Bioceramic Endodontic Materials. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: https://www.technomedics.no/wp-content/uploads/2015/12/Totalfill_bro14.pdf

28. Brasseler.
Material safety data sheet. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: http://39a6b12ilb7y46yglh3knb1p-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/files/B_3114E_BC%20Sealer%20MSDS.pdf

29. Innovative Bioceramix. Material safety data sheet. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: ftp://ftp.endoco.com/MSDS/VerioiRoot.pdf

30. Jafari F, Jafari S.
Composition and physicochemical properties of calcium silicate based sealers: A review article. J Clin Exp Dent. 2017; 9(10): e1249–e1255.

31. DiaDent Europe.
Dia-Root Bio Sealer [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: http://www.diadenteurope.com/media/1314/2020-dia-root-biosealer-info.pdf

32. Rawtiya M, Verma K, Singh S, Munuga S, Khan S.
MTA-based root canal sealers. J Orofac Res. 2013; 3: 16–21.

33. Angelus.
Safety Data Sheet. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: https://www.dhpionline.com/msds/330-827.pdf

34. Angelus.
Material Safety Data Sheet. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: https://www.angelusdental.com/img/arquivos/mta_fillapex_msds_download.pdf

35. Tanomaru-Filho M, Bosso R, Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM.
Radiopacity and flow of different endodontic sealers. Acta Odontol Latinoam. 2013; 26(2): 121–125.

36. Lee JH, Baek SH, Bae KS.
Evaluation of the cytotoxicity of calcium phosphate root canal sealers. J Korean Acad Conservat Dentistry. 2003; 28(4): 295–302.

37. Hakki SS, Bozkurt BS, Ozcopur B, Gandolfi MG, Prati C, Belli, S.
The response of cementoblasts to calcium phosphate resin-based and calcium silicate-based commercial sealers. Int Endod J. 2012; 46(3): 242–252.

38. Itena. MTA. Bioseal safety data sheet. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: https://www.itena-clinical.com/en/index.php?controller=attachment&id_attachment=388

39. Lee JK, Kim S, Lee S, Kim HC, Kim E.
In vitro comparison of biocompatibility of calcium silicate-based root canal sealers. materials (Basel). 2019; 12(15): 2411. doi: 10.3390/ma12152411

40. FDA.
510(k) Summary (K170950) [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf17/K170950.pdf

41. Angelus.
Bio-C Sealer. [cit. 7. 6. 2020]. Dostupné z: http://www.angelusdental.com/img/arquivos/3823_10503823_0321052018_bio_c_sealer_bula_fechado.pdf

42. Siboni F, Taddei P, Zamparini F, Prati C, Gandolfi MG.
Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. Int Endod J. 2017; 50(2): 120–136.

43. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M.
Physical properties of 5 root canal sealers. J Endod. 2013; 39(10): 1281–1286.

proLékaře.cz | 1.5.2025

44. Wang Z.
Bioceramic materials in endodontics. Endod Topics. 2015; 32: 3–30.
45. Koch KA, Brave GD, Nasseh AA.
Bioceramic technology: closing the endo-restorative circle, part 2. Dentistry today. 2010; 29(3): 98–100.
46. Trope M, Bunes A, Debelian G.
Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? Endod Topics. 2015; 32: 86–96.
47. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine RJ, Weller RN, Pashley DH, Tay FR.
Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. J Endod. 2011; 37(5): 673–677.
48. Xuereb M, Vella P, Damidot D, Sammut CV, Camilleri J.
In situ assessment of the setting of tricalcium silicate-based sealers using a dentin pressure model. J Endod. 2015; 41(1): 111–124.
49. Ha JH, Kim HC, Kim YK, Kwon TY.
An evaluation of wetting and adhesion of three bioceramic root canal sealers to intraradicular human dentin. Materials (Basel). 2018; 11(8): 1286. doi: 10.3390/ma11081286
50. Septodont.
BioRoot™ RCS bioactive root canal sealer. [cit. 24. 5. 2020]. Dostupné z: http://www.oraverse.com/bio/img/BioRoot-ScientificFile.pdf
51. Camilleri J.
Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. Int Endod J. 2008; 41(5): 408–417.
52. Žižka R, Šedý J, Voborná I.
Příprava kalciumsilikátových cementů. LKS. 2020; 30(1): 8–11.
53. Viapiana R, Moinzadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru Filho M, Camilleri J.
Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and Bioroot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. Int Endod J. 2016; 49(8): 774–782.
54. Reyes-Carmona JF, Felippe MS, Felippe WT.
The biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and Portland cement on dentin enhances the push-out strength. J Endod, 2010; 36(2): 286–291.
55. Yang DK, Kim S, Park JW, Kim E, Shin SJ.
Different setting conditions affect surface characteristics and microhardness of calcium silicate-based sealers. Scanning. 2018; 2018: 7136345. doi:10.1155/2018/7136345
56. DeLong C, He J, Woodmansey KF.
The effect of obturation technique on the push-out bond strength of calcium silicate sealers. J Endod. 2015; 41(3): 385–388.
57. Kohli MR, Yamaguchi M, Setzer FC, Karabucak B.
Spectrophotometric analysis of coronal tooth discoloration induced by various bioceramic cements and other endodontic materials. J Endod, 2015; 41(11): 1862–1866.
58. Marciano MA, Duarte MA, Camilleri J.
Dental discoloration caused by bismuth oxide in MTA in the presence of sodium hypochlorite. Clin Oral Investig, 2015, 19(9): 2201–2209.
59. Žižka R, Šedý J, Gregor L, Voborná I.
Discoloration after regenerative endodontic procedures: A critical review. Iran Endod J. 2018; 13(3): 278–284.
60. Camilleri J, Mallia B.
Evaluation of the dimensional changes of mineral trioxide aggregate sealer. Int Endod J. 2011; 44(5): 416–424.
61. Prüllage RK, Urban K, Schäfer E, Dammaschke T.
Material properties of a tricalcium silicate–containing, a mineral trioxide aggregate–containing, and an epoxy resin–based root canal sealer. J Endod. 2016; 42(12): 1784–1788.
62. Wang Y, Liu S, Dong Y.
In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. PLoS One. 2018; 13(2): e0192248. doi: 10.1371/journal.pone.0192248
63. Eldeniz AU, Shehata M, Högg C, Reichl FX.
DNA double-strand breaks caused by new and contemporary endodontic sealers. Int Endod J. 2016; 49: 1141–1151.
64. Loison-Robert LS, Tassin M, Bonte E, Berbar T, Isaac J, Berdal A, Simon S, Fournier BPJ.
In vitro effects of two silicate-based materials, Biodentine and BioRoot RCS, on dental pulp stem cells in models of reactionary and reparative dentinogenesis. PLoS OnE, 2018; 13(1): e0190014. doi: 10.1371/journal.pone.0190014
65. Giacomino CM, Wealleans JA, Kuhn N, Diogenes A.
Comparative biocompatibility and osteogenic potential of two bioceramic sealers. J Endod. 2019; 45(1): 51–56.
66. Fonseca DA, Paula AB, Marto CM, Coelho A, Paulo S, Martinho JP, Carrilho E, Ferreira MM.
Biocompatibility of root canal sealers: a systematic review of in vitro and in vivo studies. Materials (Basel). 2019; 9; 12(24): 4113. doi: 10.3390/ma12244113
67. Jung S, Libricht V, Sielker S, Hanisch MR, Schäfer E, Dammaschke T.
Evaluation of the biocompatibility of root canal sealers on human periodontal ligament cells ex vivo. Odontology. 2019; 107(1): 54–63.
68. Zhou HM, Shen Y, Wang ZJ, Li L, Zheng YF, Häkkinen L, Haapasalo M.
In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. J Endod, 2013; 39(4): 478–483.
69. Lee BN, Hong JU, Kim SM, Jang JH, Chang HS, Hwang YC, Hwang IN, Oh WM.
Anti-inflammatory and osteogenic effects of calcium silicate-based root canal sealers. J Endod. 2019; 45(1): 73–78.
70. Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I, Laurent P, About I.
Bioactivity of a calcium silicate-based endodontic cement (BioRoot RCS): Interactions with human periodontal ligament cells in vitro. J Endod. 2015, 41(9): 1469–1473.
71. Matsumoto S, Hayashi M, Suzuki Y, Suzuki N, Maeno M, Ogiso B.
Calcium ions released from mineral trioxide aggregate convert the differentiation pathway of C2C12 cells into osteoblast lineage. J Endod. 2013; 39(1): 68–75.
72. Rosa M, Morozova Y, Moštěk R, Jusku A, Kováčová V, Somolová L, Voborná I, Kovalský T.
Vybrané vlastnosti súčasných endodontických sealerov: Časť 2. Čes stomatol Prakt zubní lék. 2021; 121(1): 3–10. doi: 10.51479/cspzl.2021.002
73. Ballullaya SV, Vinay V, Thumu J, Devalla S, Bollu IP, Balla S.
Stereomicroscopic dye leakage measurement of six different root canal sealers. J Clin Diagn Res. 2017; 11(6): ZC65–ZC68. doi: 10.7860/JCDR/2017/25780.10077
74. Ehsani M, Dehghani A, Abesi F, Khafri S, Dehkordi SG.
Evaluation of apical micro-leakage of different endodontic sealers in the presence and absence of moisture. J Dent Res Dent Clin Dent Prospect. 2014; 8(3):125–129.
75. Yanpiset K, Banomyong D, Chotvorrarak K, Srisatjaluk RL.
Bacterial leakage and micro-computed tomography evaluation in round-shaped canals obturated with bioceramic cone and sealer using matched single cone technique. Restor Dent Endod. 2018; 43(3):30. 6.5395/rde.2018.43.e30.